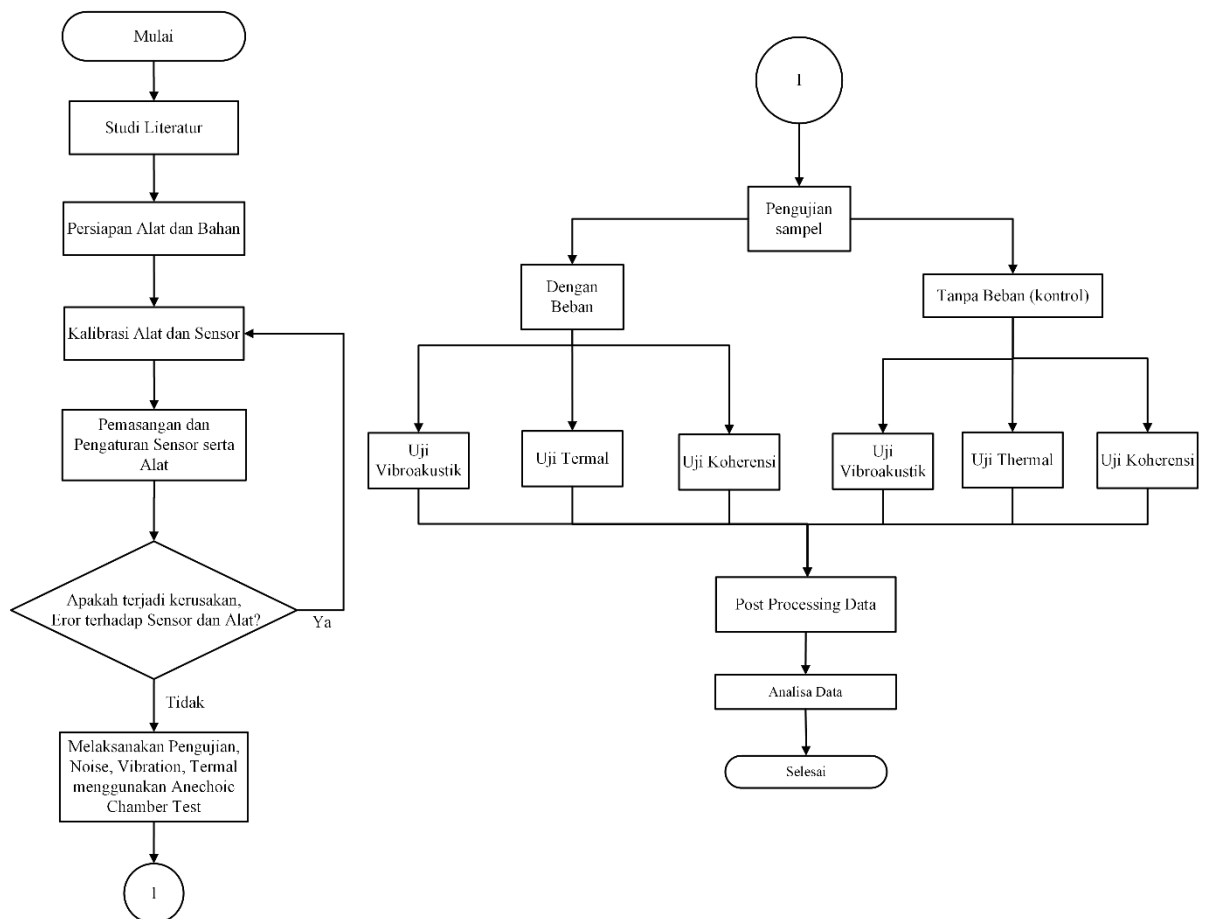


BAB III

METODOLOGI

3. 1 Diagram Alir Penelitian

Ada beberapa prosedur yang harus dilakukan dalam kegiatan penelitian ini. Disusun diagram alir sebagai urutan proses yang dilakukan dalam melakukan pengujian performa motor listrik. Diagram alir ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 *Flow chart* Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

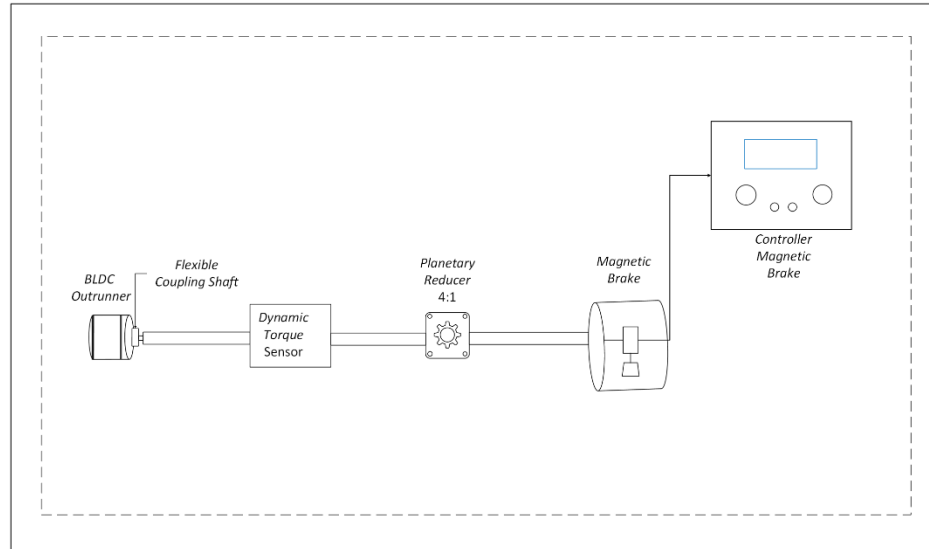
Komponen alat dan bahan yang digunakan dalam menganalisis karakteristik performa motor listrik antara lain:

3.2.1 Spesifikasi Bahan Uji

T-Motor U12 II 60 kV merupakan motor listrik sinkron tipe *Brushless Direct Current (BLDC) outrunner* yang dirancang untuk aplikasi *drone* (UAV) kelas berat. Motor ini berfungsi sebagai objek utama dalam penelitian yang memiliki konstanta kecepatan 60 kV.

Tabel 3. 1 Spesifikasi BLDC T - motor

Manufaktur	T-Motor
Tipe	U12 II 60 kV
Konfiguration	36 slot stator, 42 kutub rotor
Konstanta Kecepatan	60 kV
Dimensi Motor	Ø 106.8 mm x 47.6 mm
Bobot	778 gram
Tegangan Kerja	6s – 12s
Arus puncak	60 Amper
Daya maksimum	4000 W
Hambatan internal	41 – 95 mΩ



Gambar 3. 3 Skematik 2 Dimensi unit Rangka Uji

3.2.3 Instrumen Monitoring Listrik

Instrumen monitoring listrik digunakan sebagai indikator pembebanan (monitoring) untuk memastikan motor bekerja sesuai beban yang diinginkan, Terdiri sebagai berikut:

1. Sensor Arus

berupa transduser yang membaca besar arus yang mengalir pada motor listrik. Prinsip kerja alat ini adalah menggunakan belitan, fluks magnet diinduksi pada inti magnet akibat adanya aliran arus pada kawat penghantar atau kabel suplai motor. Sensor arus yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Spesifikasi Sensor Arus

Tipe	cr 4110-100
Range	0-100 A AC
Suplai	24 V DC
Output	0-5 V DC



Gambar 3. 4 Sensor Arus

2. Sensor Tegangan

sejenis transduser yang mengukur nilai tegangan masukan yang sebanding dengan sinyal keluaran pada sisi output. Rentang tegangan input dikonversikan menjadi rentang tegangan output. Rangkaian sensor tegangan pada prinsipnya yaitu melakukan pencuplikan tegangan yang mengalir masuk ke sistem pengukuran, cara kerja sensor tegangan ini yaitu sensor tegangan diletakan paralel terhadap jaringan atau penghantar dari sumber. Terdapat spesifikasi sensor tegangan sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Spesifikasi Sensor Tegangan

Tipe	ES-DA4U
<i>Range</i>	0 – 400 V AC
<i>Suplai</i>	24 V DC
<i>Output</i>	0 – 5 V DC



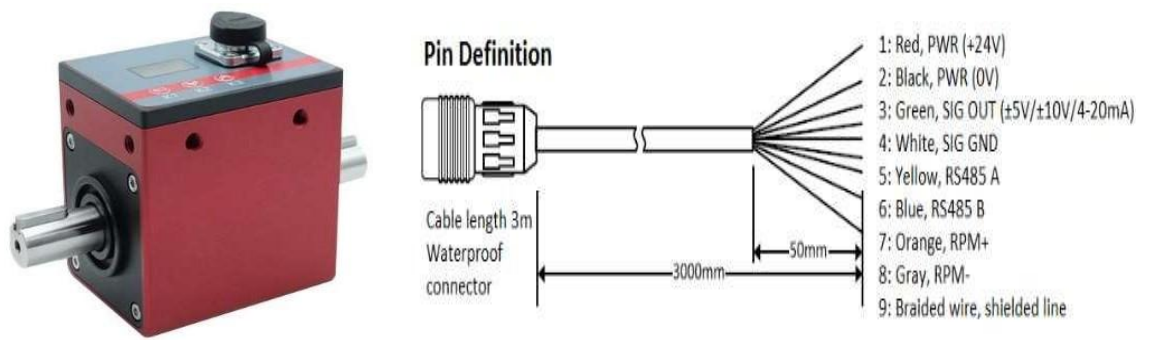
Gambar 3. 5 Sensor Tegangan

3. 3 Instrumen Mekanik

Sistem pengujian ini menggunakan *magnetic brake* elektromagnetik berbasis serbuk magnetik sebagai beban, di mana besar torsi pengereman dikontrol secara linier oleh arus eksitasi melalui modul pengendali yang responsif dan terintegrasi dengan pembacaan RPM (*proximity sensor*). Untuk mengukur parameter kinerja, satu unit sensor torsi dan kecepatan dipasang secara *inline* menghubungkan poros motor penggerak dengan poros beban. Sensor ini mentransmisikan data akuisisi ke kontroler baik melalui sinyal *output* analog maupun komunikasi serial RS485.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Sensor Torsi dan Kecepatan

Tipe	SOPN-200
<i>Material</i>	<i>Stainless steel</i>
<i>Torque output</i>	± 5 V DC
<i>Torque max</i>	8 Nm
<i>Max.Speed</i>	6000rpm
<i>Power supply</i>	24 VDC
<i>Safe overload</i>	150%
<i>Output speed</i>	60 pulse per revolution
Diameter shaft	10 mm



Gambar 3. 6 Sensor Torsi dan Kecepatan

3.3.1 Sistem Pembebanan dan Transmisi

1. Reducer

Digunakan untuk menurunkan tingkat kecepatan putar input sehingga sesuai dengan spesifikasi keluaran output. *Reducer* digunakan karena *brake* yang digunakan memiliki keterbatasan maksimal kecepatan. *Reducer* dipasang pada poros output sensor torsi dan kecepatan dengan poros input *magnetic brake*.

Spesifikasi *Reducer* ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 6 Spesifikasi *Reducer*

Type	<i>Planetary reducer – gear motor</i>
<i>Ratio</i>	4:1
<i>Commutation</i>	<i>Brush</i>
<i>Model number</i>	PLF 042 – 4 - 5 - 22 – 43,8
<i>Protect feature</i>	<i>Drip - proof</i>
<i>Construction</i>	<i>Reducer</i>
<i>Torque</i>	15 Nm
<i>Efficiency</i>	IE 1
<i>Input</i>	5 mm – 8 mm
<i>Output shaft</i>	10 mm
<i>Max input speed</i>	8000 rpm
<i>Rated input</i>	4400 rpm



Gambar 3. 7 Reducer

2. *Magnetic Brake*

Sebagai beban motor, di mana torsi pengereman berbanding lurus dengan arus eksitasi. Alat ini dikendalikan oleh modul khusus yang mengatur level pengereman (output 0 - 24 V%) dan dilengkapi fitur pembacaan RPM dari *proximity sensor*. Sistem ini memiliki respons cepat serta terhubung langsung dengan sensor torsi dan kecepatan melalui poros. Spesifikasi *magnetic brake* ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Magnetic Brake*

Tipe	KTC 812
<i>Rated torque</i>	25 Nm
RPM maksimal	1800
<i>Signal input</i>	0 – 24 V DC
<i>Rated current</i>	0,94 A
Weight	4,5 Kg



Gambar 3. 8 *Magnetic brake*

3.3.2 Instrumen Pengukuran Karakterisasi

Rangkaian instrumen ini berfungsi sebagai alat akuisisi data untuk parameter output penelitian, yang meliputi level suara (*noise*), profil getaran (*vibrasi*), dan pemetaan distribusi panas pada objek uji. Instrumen pengukuran karakteristik sebagai berikut:

1. Sistem Pengukuran Kebisingan

Menggunakan Mikrofon Pengukuran Alctron M6 (kondensor *omnidirectional, respons linear*) yang ditempatkan di dalam *Anechoic Chamber* sesuai standar ISO 3746 (jarak 10 cm). Mikrofon ini terhubung dengan *Audio Interface* untuk mensuplai daya (+48V *Phantom Power*) dan mengkonversi sinyal analog menjadi digital. Sinyal yang terekam selanjutnya diproses oleh perangkat lunak analisis spektrum (*Spectrum Analyzer*) untuk mendapatkan nilai Tingkat Tekanan Suara (SPL) dalam satuan dBfsA.

Tabel 3. 8 Spesifikasi Mikrofon *Alctron M 6*

Tipe	Alctron M6
Jenis Tranduser	<i>Back – electret condenser</i>
Pola <i>pattern</i>	<i>Omnidirectional</i>
Respon Frekuensi	20 Hz – 20 KHz
Sensitivitas	-37 dBfs \pm 2dBfs
Impedansi <i>output</i>	200 Ω
<i>Equivalent noise level</i>	24 dBfs
<i>Max input SPL</i>	132 dBfs
Kebutuhan daya	+48 <i>phantom power</i>
konektor	3 pin XLR <i>male</i>



Gambar 3. 9 Mikrofon *Alctron M 6*

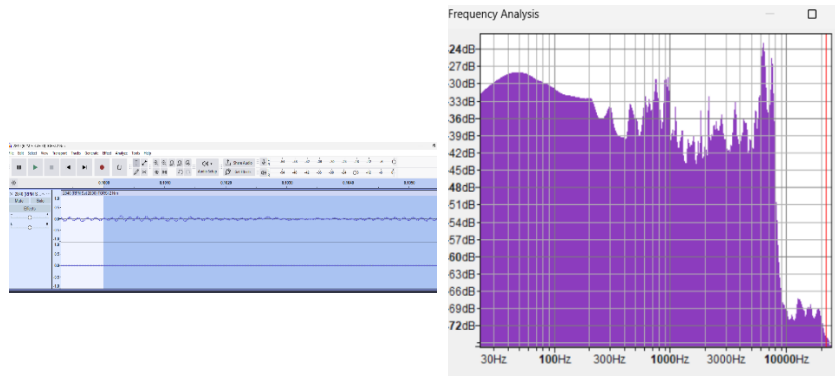
2. Sistem Pengukuran Getaran

Analisis karakteristik getaran mekanis dilakukan menggunakan pendekatan vibroakustik dengan metode pengukuran tak sentuh (*non-contact measurement*). Metode ini diterapkan untuk mengidentifikasi anomali mekanis berdasarkan pola emisi akustik yang dipancarkan oleh objek uji. Sistem instrumentasi utama yang digunakan adalah Mikrofon Alctron M6, yang

berfungsi sebagai sensor akuisisi data dan terintegrasi dengan perangkat komputer sebagai stasiun pemrosesan sinyal digital (*Digital Signal Processing Station*). Alur akuisisi data diawali dengan konversi gelombang akustik analog menjadi sinyal listrik digital melalui perangkat Audio Interface yang terhubung ke unit komputer. Sinyal digital tersebut selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak penganalisis spektrum (*Audacity*). Untuk menjamin validitas data kuantitatif, sistem pengukuran dikalibrasi menggunakan *Sound Level Calibrator* (standar 94 dBfs pada 1 kHz) sebelum pengambilan data. Hal ini bertujuan untuk menetapkan *Reference Level* yang akurat, sehingga amplitudo spektrum yang dihasilkan merepresentasikan nilai Tekanan Suara (SPL) yang valid, bukan sekadar nilai relatif (dBfsFS). Proses analisis kemudian menerapkan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mentransformasi sinyal dari ranah waktu (*time domain*) menjadi ranah frekuensi (*frequency domain*). Melalui representasi

Tabel 3. 9 Spesifikasi *Sistem* Akuisisi dan Analisis Data

Perangkat Lunak	<i>Audacity (Open Source Audio)</i>
Algoritma Analisis	±500 g
Fungsi Jendela (<i>Window</i>)	Hanning (<i>High Spectral Resolution</i>)
Sampling Rate	>35 KHz
Resolusi Data	± 1% (Full Scale)



Gambar 3. 10 Tampilan Antarmuka Analisis Frequency Domain pada Perangkat Lunak Audacity

3. Sensor Pengukuran Termal

Karakterisasi Pengukuran termal dilakukan menggunakan Kamera Pencitraan Termal (*Thermal Imaging Camera*). Alat ini menangkap radiasi inframerah dari objek uji dan memvisualisasikannya menjadi peta panas (*heat map*) untuk menganalisis distribusi temperatur pada permukaan motor dan mengidentifikasi titik panas kritis (*hotspot*).

Tabel 3. 10 Spesifikasi *Thermal Imaging*

Resolusi Detektor	320 X 240 piksel
Rentang Suhu	-20 °C – +650 °C
Sensitivitas	≤ 0.075 °C
Akurasi	2%
Sistem Fokus	<i>Laser Sharp Auto Focus</i>
Sudut pandang lensa	34° (H) x 24° (V)



Gambar 3. 11 *Thermal Imaging*

3.3.3 Fasilitas Lingkungan Uji

Pengujian kebisingan motor *BLDC* dilakukan di dalam *Anechoic Chamber* yang dilapisi *acoustic wedges* untuk menciptakan kondisi *free field* dan mengeliminasi gangguan suara eksternal. Sesuai standar ISO 3746, fasilitas ini menjamin tingkat kebisingan latar minimal 10 dBfs lebih rendah dari objek uji, sehingga data yang direkam murni berasal dari motor tanpa distorsi lingkungan. Selain itu, suhu dan kelembaban ruangan dijaga konstan demi stabilitas pembacaan sensor termal.

Tabel 3. 11 Spesifikasi *Anechoic Chamber*

Parameter	Spesifikasi Teknis
Tipe Ruang	Mini <i>Anechoic Chamber</i>
Dimensi Total	1000 mm X 1000 mm X 1000 mm
Material Rangka	Aluminium <i>Extrusion</i> 4040
Material Dinding luar	Plat Aluminium 2,5 mm
Material penyerap Utama	<i>Egg Crate Acoustic Foam</i> 35 mm
Total Ktebalan Dinding	\pm 100 mm (<i>Multi layer composite</i>)



Gambar 3. 12 *Anechoic Chamber*

3. 4 Proses Persiapan Pengujian

Berikut merupakan prosedur persiapan alat & bahan yang dilaksanakan:

1. Pastikan komponen sistem pembebanan yang terdiri dari *Magnetic Brake* dan *Planetary Reducer* siap digunakan dan terhubung dengan modul pengendali tegangan untuk mengatur torsi pengereman secara linier hingga 3,4 Nm (16%, 32%, 48%, 64%, 80%, 96%).
2. Lakukan kalibrasi pada instrumen ukur utama, yaitu Sensor Torsi dan Kecepatan Sensor Arus Sensor Tegangan, serta instrumen akustik dan vibrasi untuk memastikan akurasi data sesuai spesifikasi.
3. Pastikan *Mini Anechoic Chamber* berada dalam kondisi ideal dengan tingkat kebisingan latar minimal 10 dBfs lebih rendah dari objek uji (standar ISO 3746) serta suhu dan kelembaban ruangan terjaga konstan.
4. Pasang BLDC T-Motor U12 II 60 kV pada Unit Rangka Uji di dalam chamber, pastikan poros motor terhubung secara *inline* (segaris) dengan sensor torsi, *reducer*, dan *magnetic brake* untuk mencegah *misalignment*.

5. Tempatkan *Power Supply* 24 V DC dan modul kontrol magnetic brake di luar area pengukuran utama atau pastikan terisolasi dengan baik untuk mensuplai daya ke sistem tanpa menimbulkan gangguan sinyal.
6. Posisikan Mikrofon Alctron M6 pada jarak 10 cm dari motor dan siapkan Kamera Pencitraan Termal (*Thermal Imaging Camera*) untuk visualisasikan peta panas (*heat map*) dan distribusi temperatur permukaan motor.
7. Integrasikan output sensor ke sistem akuisisi data: sinyal suara dari Audio Interface direkam dan diproses menggunakan perangkat lunak *open source* Audacity, sinyal getaran ke osiloskop Digital, serta seluruh data performa listrik dan mekanik ditransmisikan melalui sinyal analog.

3. 5 Proses Pengambilan Data

Berikut merupakan prosedur pengambilan data yang dilaksanakan:

1. Proses pengambilan data eksperimen diawali dengan menjalankan Motor BLDC T-Motor U12 II 60 kV tanpa beban (*no-load*) pada kecepatan putaran rendah untuk memastikan kesiapan sistem dan sensor.
2. Motor dijalankan dan dipertahankan pada setiap titik kondisi pengujian putaran yang telah ditetapkan, yaitu 500, 1000, 2000, 3000, 4000, dan 5000 rpm, dengan kombinasi pembebanan bertingkat mulai dari 0 Nm hingga 3,4 Nm menggunakan *Magnetic Brake*.

3. Pada setiap kondisi putaran dan pembebanan, variabel data direkam secara simultan: sinyal suara direkam menggunakan perangkat lunak *Audacity*, serta data performa (Torsi, Arus, Tegangan) dicatat melalui sistem akuisisi data Analog.
4. Data termal diambil menggunakan Kamera Pencitraan Termal (*Thermal Imaging Camera*) secara periodik selama durasi pengujian 60 detik. Hal ini bertujuan untuk menangkap karakteristik transien termal dan memetakan distribusi titik panas (*hotspot*) pada *housing* motor saat beban diaplikasikan.
5. Seluruh proses pengambilan data vibroakustik, performa, dan termal dari prosedur 2 hingga 4 dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali untuk memverifikasi keandalan dan validitas data, dengan rentang waktu per 30 detik.
6. Setelah data yang didapat terkumpul, dilakukan pengolahan (*post processing*) untuk dianalisis dan divalidasi terhadap kajian teoretis.

3. 6 Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, metode pengumpulan data yang diperlukan sebagai berikut:

3.6.1 Kajian Literatur

Kajian Literatur dilaksanakan dengan cara mengumpulkan data - data melalui buku-buku literatur, materi perkuliahan serta jurnal yang berhubungan dengan obyek-obyek yang sesuai dengan topik permasalahan serta mencari bacaan atau literatur di internet untuk mendalami pemahaman tentang sebuah pengujian anechoic chamber untuk BLDC *outrunner*.

3.6.2 Wawancara

Wawancara dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh data-data lapangan yang lebih lengkap tentang objek akhir. Wawancara tersebut meliputi wawancara langsung dengan para peneliti yang berkompeten dalam pengujian *anechoic chamber test* dan BLDC.

3.6.3 Mengakses Dokumen *Standar and code*

Menelaah dan mengaplikasikan dokumen *standard and code* yang sesuai dan relevan dengan topik permasalahan yang terjadi, standar pada uji *anechoic chamber* yang dimaksud secara umum adalah:

1. ISO 3746:2010 (Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure).
2. IEC 60034-14 Rotating electrical machines – Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity.

3. ISO 18434-1:2008 *Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography – Part 1: General procedures.*

3. 7 Analisis Data

Analisis data bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi tingkatan perbedaan RPM dan frekuensi (Hz) serta adanya pembebanan dan tidak adanya pembebanan terhadap karakteristik performa motor BLDC *outrunner* yang meliputi analisis getaran (*vibrasi*), distribusi suhu (*termal*), dan tingkat kebisingan (*noise*). Data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengujian di dalam *anechoic chamber* akan diolah dalam grafik dan tabel untuk mengidentifikasi korelasi serta tren perubahan performa motor seiring dengan meningkatnya beban. Mengingat pengujian menggunakan sistem transmisi (*gearbox* dan *brake*), Analisis frekuensi dilakukan dengan memverifikasi bahwa puncak spektrum FFT yang dianalisis konsisten dengan pola harmonisa eksitasi elektromagnetik motor BLDC dan tidak berkorespondensi dengan frekuensi mesh gearbox pada rentang 1.667–2.500 Hz, sehingga karakteristik murni motor dapat diidentifikasi.

3.7.1 Analisis Efisiensi

Analisis efisiensi sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan motor dalam mengonversi daya listrik menjadi kerja mekanik produktif. Efisiensi (η) dihitung dengan membandingkan daya mekanik keluaran (P_{out}) terhadap daya elektrik masukan (P_{in}) menggunakan persamaan berikut (Mohanraj et al., 2022):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana daya masukan (P_{in}) diperoleh dari sensor arus dan tegangan ($V \times I$), sedangkan daya keluaran mekanik (P_{out}) dihitung berdasarkan torsi (τ) dan kecepatan sudut (ω) yang diperoleh dari sensor torsi dan kecepatan, dengan (n) adalah kecepatan putar motor dalam satuan RPM.

$$P_{out} = \tau \times \left(\frac{2\pi \times n}{60} \right) \quad (3.2)$$

3.7.2 Analisis Vibroakustik

Analisis vibroakustik merupakan metode terintegrasi yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dinamis mesin rotasi melalui representasi sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi. Pada sistem motor listrik, analisis ini krusial untuk memetakan bagaimana parameter operasional memengaruhi eksitasi elektromagnetik yang berujung pada emisi kebisingan dan tingkat getaran (Saiteja & Ashok, 2024). Untuk mendapatkan data yang valid dan terukur, digunakan dua parameter pemrosesan sinyal utama sebagai berikut:

1. *Root Mean Square* (RMS) adalah parameter statistik standar yang digunakan untuk menentukan nilai efektif atau besaran energi total dari sebuah sinyal vibroakustik dalam rentang waktu tertentu. Nilai RMS berfungsi sebagai indikator utama untuk menilai *vibration severity* (tingkat keparahan getaran) dan memprediksi perilaku mekanis akibat pengaruh termal maupun beban (Febriansyah et al., 2023). Penggunaan RMS memungkinkan evaluasi tingkat energi getaran dan suara secara menyeluruh. Secara matematis, nilai RMS dirumuskan sebagai:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (x(n))^2} \quad (3.3)$$

Keterangan:

X_{RMS} : Nilai rata-rata efektif getaran

N : Jumlah sampel data

$x(n)$: Nilai amplitudo getaran pada sampel ke n

2. Mengingat sinyal getaran dan suara bersifat kompleks, diperlukan dekomposisi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Metode ini sangat efektif dalam mengidentifikasi frekuensi kritis dan respon dinamik pada sistem rotasi guna memastikan keamanan operasional mesin (Purnama et al., 2024). Melalui spektrum frekuensi yang dihasilkan FFT, sumber gangguan spesifik seperti frekuensi penyaklaran (switching frequency) dapat diidentifikasi secara akurat melalui puncak-puncak amplitudo pada frekuensi tertentu (Saiteja & Ashok, 2024). Transformasi ini dinyatakan dalam persamaan:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$X(k)$: Spektrum Frekuensi k

$x(n)$: Nilai amplitudo getaran pada sampel ke n

$e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$: Komponen Eksponensial Kompleks

3. *Sound Pressure Level* (SPL)

Untuk mengevaluasi respon akustik yang dihasilkan dari fenomena eksitasi elektromagnetik dan mekanis pada motor, digunakan parameter *Sound Pressure Level* (L_p) sebagai metrik kuantitatif. Nilai SPL dihitung dalam skala logaritmik desibel (dBfs) berdasarkan perbandingan tekanan suara terukur (P) terhadap tekanan referensi (P_{ref}) sebesar 20μ Pa yang merupakan ambang batas pendengaran manusia (Saiteja & Ashok, 2024). Penggunaan skala logaritmik ini memungkinkan representasi rentang tekanan suara yang luas ke dalam angka yang lebih mudah dianalisis. Persamaan untuk menghitung SPL adalah sebagai berikut:

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (3.5)$$

Keterangan:

L_p : Tingkat Tekanan Suara (dBfs)

$20 \log_{10}$: Skala Logaritmik (Pascal)

$\frac{P}{P_{ref}}$: Tekanan Suara Terukur (Pascal)

3.7.3 Karakteristik Termal Transien

Karakteristik termal transien menggambarkan perubahan suhu komponen motor BLDC sebagai fungsi waktu, terhitung sejak motor mulai dioperasikan hingga mencapai titik kestabilan termal (*steady state*). Pada motor tipe *outrunner*, profil kenaikan suhu ini mengikuti pola eksponensial transien dan sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang diberikan. Secara teoritis, respon suhu transien pada mesin rotasi mengikuti pola eksponensial

yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Palanivel & Padmanabhan, 2018):

$$T_{(t)} = T_{amb} + (P_{loss} \times R_{th}) \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{th} \cdot C_{th}}} \right) \quad (3.6)$$

Keterangan:

$T_{(t)}$: Suhu komponen pada waktu (t)

T_{amb} : Suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

P_{loss} : Rugi Daya

R_{th} : Resistensi Termal ($^{\circ}\text{C}/\text{w}$)

C_{th} : Kapasitas Panas Material ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$)

t : Waktu pengamatan (detik/menit)

3.7.4 Analisis Koherensi Sinyal

Analisis koherensi merupakan metode statistik yang krusial untuk memvalidasi hubungan linier antara dua sinyal dalam domain frekuensi. Menurut (Purnomo et al., 2024), fungsi koherensi kuadrat (C_{xy}) digunakan untuk mengidentifikasi apakah emisi akustik yang dihasilkan oleh motor listrik memiliki korelasi langsung dengan variasi pembebanan yang diberikan. Nilai koherensi yang mendekati satu menunjukkan bahwa sinyal suara tersebut merupakan representasi dari karakteristik getaran motor,

sedangkan nilai yang rendah mengindikasikan adanya pengaruh *noise* eksternal.

Dalam pengujian motor BLDC *outrunner* ini, fungsi koherensi digunakan untuk memverifikasi bahwa data respons fisik yang terekam benar-benar merepresentasikan karakteristik murni dari objek uji. Mengingat sistem rangka uji mengintegrasikan komponen mekanis tambahan seperti *planetary reducer (gearbox)* dan *magnetic brake*, metode pengukuran akustik tak sentuh (*non-contact*) menggunakan mikrofon memiliki risiko tinggi terdistorsi oleh bising sekunder, salah satunya adalah *gear mesh frequency*. Melalui analisis koherensi, kontribusi bising lingkungan atau getaran dari komponen transmisi tersebut dapat dipisahkan. Proses ini memastikan bahwa puncak spektrum (*peaks*) pada hasil FFT murni bersumber dari eksitasi elektromagnetik internal motor, seperti harmonisa penyaklaran (*switching PWM*) dan *cogging torque*, serta terbukti tidak berkorespondensi dengan frekuensi kerja *gearbox* pada rentang 1.667–2.500 Hz. Batas ambang koherensi ditetapkan pada nilai $\geq 0,8$ sebagai parameter pemasti bahwa rugi - rugi energi vibroakustik yang terdisipasi menjadi panas pada *casing* memiliki hubungan sebab-akibat yang linear dengan eskalasi arus kerja motor

Fungsi koherensi didefinisikan sebagai rasio antara *cross-power spectral density* dengan perkalian *power spectral density* dari sinyal masukan dan keluaran, yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Purnomo et al., 2024):

$$C_{xy}(f) = \frac{|\hat{s}_{xy}(f)|^2}{\sqrt{\hat{s}_{xx}(f)\hat{s}_{yy}(f)}} \quad (3.7)$$

Keterangan:

$C_{xy}(f)$: Fungsi koherensi pada frekuensi

$\hat{s}_{xy}(f)$: *Cross-power spectral density* antara sinyal x dan y

$\hat{s}_{xx}(f)$: *Power spectral density* dari sinyal x

$\hat{s}_{yy}(f)$: *Power spectral density* dari sinyal y